

韓国の石造遺産の保存研究

イ・チャンヒ LEE, Chan Hee／公州国立大学文化遺産保全科学科、公州、韓国・教授

1. はじめに

1.1. 地質環境特性

- 朝鮮半島は、主に山岳地帯によく見られる非常に多様な地質学と岩石学を示している。
- 半分以上は花崗岩と花崗片麻岩で構成されている。
- 朝鮮半島の地質学的特徴は、韓国の石造遺産を形作る材料や工法の選択と密接に関係している。

1.2. 韓国石の遺産の代表的な種類

- 岩面彫刻・支石墓・仏教塔(24.8%)・仏像(22.9%)
- 石仏、石碑(18.0%)など

1.3. 石造遺産における石の種類の分類

- 火成岩；80.4%（花崗岩；68.3%、花崗閃緑岩；6.1%）
- 堆積岩；8.6%、変成岩；9.6%

1.4. 目的

- 開発されたNDT&E技術の紹介、デジタル文書化、変位測定
- 近年の韓国石造遺産に関連する代表的プロジェクトの簡単な説明
- 石造遺跡の保存に関する様々な試みと活動についての議論

2. NDT&Eの開発

2.1. 赤外線サーモグラフィー(I R T)

- IRTは、現在までの欠陥領域の位置を定性的に分析する。
- 欠陥領域のマッピングとその定量的領域の計算が難しい。
- 欠陥ゾーンの文書化とマッピングのための定量的モデリングの開発
- 熱伝導率および熱容量の低下による外部温度および熱に対する敏感な膨れおよび損傷箇所
- 膨れ箇所に石用の樹脂を注入して空気層を除去する際の熱特性の緩和
- ゾーンの熱特性を比較することによる保存効果の非破壊評価

2.2. 超音波検査と測定

- 平滑面を有する建築物や土木構造の超音波探傷にゲルタイプの結合剤を使用する。
- 結合剤のゲルは石に浸透し、美観を損ね、石造遺跡の物質を変化させる。
- 超音波信号の減衰が少ない非残留ドライカップリング剤を使用するより適切な方法
- 指数関数型トランスデューサ用エラストマーの開発
- 材料特性および風化度を決定するための代表的なNDT法
- 相関関係を特定して得られた標準値に基づいて修正する必要がある。
- 高い測定信頼性を確保するための直接的および間接的な結果
- 新鮮な採石場および一般的な硬岩と比較した相対的および絶対的な風化グレードの評価

2.3. P-XRF分析

- 岩石表面の風化による色の変化を計算するために色度を測定した。
- 岩石の表面色が新鮮な岩石よりも明るく、黄色に変わった。
- ポータブルXRF分析での測定により、風化による化学組成の変化を確認した。
- 盤亀台岩石の表面のCaとSrの含有量は、新鮮な岩石よりも非常に低い。
- 分析のために生成されるX線の透過深度は、試験体の密度によって異なる。
- Ca含有量：フレッシュエリアで60,330～71,379ppm、風化層で1,425～8,862ppm
- 風化深さは、ほとんどの場合2mmと計算され、約3～4mmと判断された。

2.4. 間接的内部調査

- レーダー波法による鉄鋼強化の調査(RCレーダー)
- 磁気誘導法による鋼鉄強化の調査(PM-650)
- パルスエコ法による超音波CT測光(PL-200PE、A1040 MIRA)
- 電気抵抗法による腐食度の測定(Resipod)

3. デジタル記録

3.1. 3次元スキャン

- 計測データに基づく3次元モデル作成のためのデジタル文書化技術
- 高い操作速度、機動力、およびアクセシビリティにより、3Dジオメトリを迅速かつ正確に取得する。
- 地上のレーザースキャンと近距離の便利なスキャンを使用した元の形式のドキュメントのためのアクティブアプリケーション
- データ後処理：データ登録、マージ、フィルタリング、ポリゴンメッシュモデリング、テクスチャマッピング、描画、実測

3.2. 表面深さモデリング

- 遺跡における模様や文字の表面の深さや三次元形状を特定する必要がある。
- 3Dモデリングと等高線図を使用した2次元平面上の数値深度情報のマッピング
- 写真やポリゴン画像と比較して比較的鮮明な奥行きと輪郭を表示。
- 通常の3Dスキャンとマッピングによる不明確な部品の可視表現と劣化モニタリングの可能性。

3.3. 変位解析

- 建築遺産に3Dスキャニングシステムを適用した変位解析
- 各標高における絶対的な垂直線に対する水平変位の解析
- 重心の移動と方向に基づく平面変位の計算

3.4. 3D仮想復元と劣化評価

- 容積形状の欠損部品の3D劣化率の計算の重要性
- 新鮮なオリジナルフォームに基づく不足部分への仮想復元技術の適用

4. 自動測定

4.1. システムコンポーネント

- トランスデューサが傾斜するにつれて、内部電極は導電性流体によって覆われるか、覆われないか。
- プロセスは電気抵抗の変化をもたらし、傾斜データはデータロガーに記憶される。
- 保存されたデータは、自動モバイルモデムシステムを介してデータ処理のために実験室コン

ピュータにダウンロードされる。

4.2. リアルタイムモニタリング

- リアルタイム自動計測用カスタマイズソフトウェアの開発と応用
- 不測な変化や緊急事態に対応した迅速な識別と管理
- しきい値超過イベント発生時のモバイルSMSによるアラーム情報の送信

4.3. 行動モニタリング

- 石造遺産の傾斜変化を監視して時間経過に伴う行動特性を調べる。
- 年間の行動変化を気象データと比較する。
- 季節・月・日の行動特性を分析する。
- 石造遺産の長期メンテナンスの重要性

4.4. 環境モニタリング

- 環境モニタリングは環境保全の評価に重要な役割を果たす。
- 様々なセンサを用いて各環境要因のモニタリングが行われる。
- モニタリングの環境要因：温度、湿度、結露、日射、降雨、風速、風向など

5. 保存処理

5.1. 石塔

- 材料特性と劣化診断による保存処理の性能
- 処理プロセス：石の取り替えによる復元、洗浄、接合および統合

5.2. 恐竜の足跡

- 材料特性、3D画像解析、フィールドテスト、劣化評価に基づく保存処理
- 発現した過去の修復材料による構造的な亀裂および亀裂の再処理
- 総合保全システムの構築への貢献
- 未来志向の自然保護活動の確立

5.3. 破壊財産に再加入する設計

- 岩石中の破断面積、一軸圧縮強さ、耐候係数および破断型の測定
- 金属材料の補強位置と個数、形状および長さの設計
- 岩石タイプ：花崗岩、超音波速度：3.37km/s（平均）、風化係数：0.3

○UCSの測定：1,362.18kg・f/cm²、風化面の面積：
1102.98mm²、断面積：355,799.5mm²

6. 最近の研究

6.1. ソウル市壁の石積み

- 14世紀以降の朝鮮時代の首都ハンニャン（現在のソウル）を守るために建設されたソウル市壁（約18.1km）
- 暫定的なユネスコの世界遺産リスト（2012年）に最近掲載された壁画
- 目的：ソウル市壁の石源地を推定するための起源地の広範な調査による古文書の分析と岩石データベースの構築
- 方法：古文書検索、地質学的調査、磁化率、偏光顕微鏡、XRD、地球化学分析、採石および切断痕跡の調査

6.2. 慶北宮殿において使用されている石材（Bakseok）の産地と輸送方法

- 景福宮内の勤政殿の石材は、排水溝としての役割を果たす板状の床石である。
- 弱いミルメカイト組織を有する異方性の中粒黒雲母花崗岩の組成
- 目的：使用されている石材と元の花崗岩の産地と輸送方法の解明
- 結果：使用されている石材に近い花崗岩が、ソクモド島のナクガサン山の周辺に発見された。
- ソクモド島の剥離花崗岩ドームの風化特性を利用した石材の加工法

6.3. 東・東南アジア石造遺産

- GSJとのCCOP（地球科学プログラム調整委員会）運営
- 東・東南アジアにおける石造遺産の代表例
- 目的：CCOP地域における遺跡の地質学的背景について読者が理解できるよう支援する。
- 種類と材質別に16件の韓国石造遺跡の紹介
- 内容：使用された石の歴史的価値、岩質および起源、劣化状態、NDT&E（簡易試験、超音波試験、サーモグラフィ、P-XRF分析など）、デジタル文書、自動行動測定、保存処理

6.4. 益山寺跡地における石塔の修復

- 1915年の修復のためのコンクリートによる石の盛土の補強と上部の覆屋
- 2001年10月以降、NRICHによる修復・保守の

実施

- 保存科学、建設、考古学、美術史を通じた詳細データの収集

6.5. 公山城要塞壁の保存科学的診断

- 公山城要塞壁は、土と石で作られ、約2,660mの長さである。
- 百済王国（475～538年）の文化的生活を把握する貴重な遺跡として評価されている。
- 一部の砂漠地帯は、雨の流入、物理的な損傷、不安定な基礎、および2013年の地盤沈下のために部分的に崩壊した。
- 目的：不安定な要塞の壁面の目視検査と行動監視を用いて、城壁の石の非破壊検査を行う。
- 方法：目視検査、材料分析、超音波測定、自動挙動および環境測定

6.6. 世界文化遺産の保存研究－ラオスのワット・プー

- 目的：構造的および生物学的劣化のため、早急に復元および修復が必要である。
- ラオス世界遺産のホン・ナン・シーダとワット・プー寺院の体系的・科学的修復のための重要なデータとしての利用
- 内容：材料分析、ダメージマップ、超音波測定、サーモグラフィ、P-XRF、構造調査、将来の保存計画